

厦门大学工学硕士学位论文

高浓度淀粉模拟废水的水解-好氧循环处理工艺

吴志旺 2002.5

学校编号: 10384

分类号:

密级:

学 号: 9933004

UDC:

厦门大学工学硕士学位论文

高浓度淀粉模拟废水的
水解-好氧循环处理工艺

吴志旺

指导教师 李清彪 教授

单位 厦门大学化工系

申请学位级别 硕士 专业名称: 化学工程

论文提交日期 2002.6 论文答辩日期: 2002.6

学位授予单位 厦门大学

答辩委员会主席

评阅人

二零零二年六月

MASTER'S THESIS

SUBMITTED FOR M.Eng. DEGREE IN CHEMICAL ENGINEERING

A Technology on Circulating Hydrolytic-Aerobic Treatment of Simulating Wastewater with High Content of Starch

Zhiwang Wu

Supervised by

Prof. Qingbiao Li

Department of Chemical Engineering
Institute of Chemistry and Chemical Engineering
Xiamen University (Amoy University), P.R.China

JUNE 2002

高浓度淀粉模拟废水的水解-好氧循环处理工艺



摘要

高浓度有机废水的处理到目前为止还是一个令人头疼的问题。本文研究了一种高浓度淀粉废水的新型处理工艺。

在论文的第一部分中，分别研究了在水解和好氧条件下，高浓度淀粉模拟废水(10g/L，COD_{cr}约为 10000mg/L)的降解过程，以及水解酸化过程对进一步好氧处理过程的影响。

在确定了实验的温度、装置等条件下，通过水解降解单元过程和好氧降解单元过程实验，

比较深入地了解模拟废水分别在缺氧和好氧条件下的降解过程:模拟淀粉废水在缺氧条件下进行的水解过程在 10 个小时左右就将废水中的淀粉几乎全部降解了,并且太长的水解时间还会使废水严重酸化,所以确定了在将要进行的水解-好氧过程中水解的时间不超过 12h;而好氧过程中,尽管最初 10 个小时淀粉的降解速率比水解过程慢,但由于酵母菌的影响,37.5h 后的 COD 去除率能达到 89.6%,淀粉去除率也达到了 90%以上。

接着,水解过程对好氧过程影响的实验证明了水解过程确实对后续好氧处理过程的最初阶段存在着一定程度的影响。这说明了在将要进行的水解-好氧过程中好氧的时间不能太短。因此,选定了第一次进行的水解-好氧组合实验中水解、好氧的时间分别为 12h。

论文的第二部分是本论文的主要部分。在这一部分里,详细研究了水解和好氧的各种间歇组合过程以及组合的间歇循环过程处理废水的效果,并进行了 4h 水解+8h 好氧组合两次连续循环的废水间歇处理的实验。

通过 12h 水解+12h 好氧组合单次间歇循环过程实验和随后进行的 12h 水解+24h 好氧组合过程的实验,得到了比较合适的水解-好氧过程中水解时间和好氧时间之比为 1:2。之后,进行了一系列的水解-好氧组合过程和组合的间歇循环过程的实验,通过对每次实验结果的分析、推测,不断变换和细分水解和好氧的时间,同时变换循环的次数,最终找到了一个能够比较有效而且比较经济地处理废水的组合循环过程,那就是 6h 水解+12h 好氧组合单次间歇循环过程实验。在总的处理时间为 36h 情况下,COD 去除率可以达到 94.1%,淀粉去除率达到了 98.8%。接着,又通过 4.5h 水解+13.5h 好氧组合单次间歇循环过程实验来证实了 6h 水解+12h 好氧组合单次间歇循环过程实验的高效性和经济性。同时也说明了 6h 的水解时间是高效性和经济性的最佳结合点。大于 6h,由于酸化严重,将对好氧处理过程产生很大的影响,影响处理效率;小于 6h,由于废水的可生化性能仍然很差,需要相同的好氧时间来弥补,因而增加了能耗。

由于单次水解和好氧时间的缩短,4h 水解+8h 好氧组合两次间歇循环过程实验,以及对应的 3h 水解+9h 好氧组合两次间歇循环过程实验的结果都比 6h 水解+12h 好氧组合单次间歇循环过程实验的结果差了很多。而 4h 水解+8h 好氧组合两次连续循环过程的实验取得了比相应 4h 水解+8h 好氧组合两次间歇循环过程实验更好的结果。虽然结果仍然不如 6h 水解+12h 好氧组合单次间歇循环过程实验的结

果，但是表明了连续循环过程实验可能确实具有减少废水酸化的作用。



关键词

高浓度淀粉废水，水解酸化，好氧生物处理，水解-好氧生物处理，循环

A Technology on Circulating Hydrolytic-Aerobic Treatment of Simulating Wastewater with High Content of Starch



Abstract

The treatment of high content organic wastewater is still a troublesome problem that has not been solved so far. In this thesis, a new biological technology to treat the wastewater with high content of starch was reported.

In the first part of this thesis, the unitary processes of hydrolytic and aerobic degradation, as well as the effect of hydrolytic acidification on the following aerobic process, were studied in the treatment of simulating wastewater with high content of starch (COD_{cr} : about 10000mg/L).

The conditions of degradative reactions were decided in advance. Then, the processes of hydrolytic degradation and aerobic degradation were studied. In the hydrolytic process, starch was degraded very quickly and nearly disappeared 10 hours later. At the same time, the wastewater was acidified badly. In the aerobic process, the biodegradation velocity of starch was much slower during the first 10h than in the hydrolytic process although the reduced rate of COD_{cr} arrived at 89.6% and more than 90% starch could be degraded 37.5h later.

It was also found that the effects of hydrolytic acidification on the forepart of following aerobic process did exist in the combination of hydrolytic process and aerobic process.

The second part was the main part of the thesis. In this part, the results of wastewater treatment by a series of combinations of hydrolytic process and aerobic process were analyzed in detail.

Via sampling analyses of these combinations and changing the time spent in hydrolytic and aerobic processes respectively, a combination that was highly effective and economical was finally attained. That was the serial hydrolytic (4h) + aerobic (8h) combination with total treatment time of 36h. The final COD_{cr} removal and the reduced

rate of starch were 94.1% and 98.8% respectively. Then, via the other experiments, 6 hours' hydrolytic process was considered the most optimum. When the time spent in hydrolytic process was more than 6 hours, the severe acidification would affect the following aerobic process badly; on the contrary, less hours spent in hydrolytic process would need more hours spent in aerobic process to make up. So, the energy expended increased.

All the shifts from the hydrolytic to aerobic process (and the reverse) in the combinations studied above were intermittent. To reduce the negative effect of hydrolytic acidification on the following aerobic process, a continuous shift of starch wastewater among both batch unit processes with residence time in hydrolytic unit and aerobic unit being 4h and 8h, respectively, was considered in a batch combination process with total treatment time of 36h. The continuous circulation had two advantages: (1) the bacterium remained in the respective reactors all the time, so the adaptive aerobic bacteria could endure the environment more easily. (2) VFA produced in the hydrolytic reactor was consumed immediately by the aerobic bacterium. So the hydrolytic acidification was less severe than in the intermittent circulation. As a result of the advantages, 72.3% COD_{cr} was removed in the combination process with continuous circulation, more than 61.2% for the one with intermittent circulation.



Key words

organic wastewater, starch, biological wastewater treatment, hydrolytic acidification, aerobic treatment, hydrolytic-aerobic treatment, circulation

高浓度淀粉模拟废水的水解-好氧循环处理工艺

A Technology on Circulating Hydrolytic-Aerobic Treatment of Simulating Wastewater with High Content of Starch



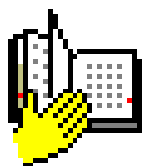
目录

中文摘要	I
英文摘要	III

第一章 绪论	1
1.1 水污染现状及有机废水的危害性	1
1.2 生物法处理有机废水简介	3
1.2.1 生物处理法的原理和分类	3
1.2.2 好氧生物处理法的发展	5
1.2.3 厌氧生物处理法及其发展历史	6
1.2.4 水解-好氧组合工艺的发展与应用	13
1.2.5 SBR 的研究现状	16
1.2.6 淀粉废水的厌氧降解途径及其处理现状	17
1.3 本文的研究目的和研究内容	18
第二章 实验部分	21
2.1 实验材料与仪器	21
2.1.1 实验材料与试剂	21
2.1.2 仪器及其用途	24
2.2 实验方法	25
2.2.1 细菌的培养	25
2.2.2 模拟废水的水解、好氧、水解-好氧组合处理方法	26
2.2.3 模拟废水的水解-好氧连续循环处理方法	28
2.2.4 分析测试方法	29
第三章 对模拟淀粉废水的水解过程和好氧过程的初步研究	36
3.1 细菌培养时间的确定	36
3.1.1 水解菌培养时间的确定	36
3.1.2 好氧菌培养时间的确定	37
3.2 在不同时间培养的水解菌和好氧菌的性能比较	38
3.2.1 用在不同时间培养的水解菌处理模拟废水结果比较	38
3.2.2 用在不同时间培养的好氧菌处理废水结果比较	40
3.3 水解降解单元过程和好氧降解单元过程	42
3.3.1 水解降解单元过程实验	42
3.3.2 好氧降解单元过程实验	44
3.4 水解过程对好氧过程的影响	47
3.4.1 48h+24h 组合实验	48
3.4.2 12h+12h 组合实验	50
第四章 模拟废水的水解-好氧组合以及组合的循环处理工艺	52
4.1 12h+12h 组合循环(1)间歇处理过程	53

4.2 12h+24h 组合处理过程	54
4.3 6h+12h 组合循环(1)间歇处理过程	57
4.4 4h+8h 组合循环(2)间歇处理过程	59
4.5 4.5h+13.5h 组合循环(1)间歇处理过程	61
4.6 3h+9h 组合循环(2)间歇处理过程	63
4.7 4h+8h 组合连续循环(2)废水间歇处理过程	65
第五章 结论	68
参考文献	70
附录一 实验数据	76
附录二 缩略语一览表	83

致谢



第一章 绪论

1.1 水污染现状及有机废水的危害性

水是人们生活和生产活动的重要资源之一。但是自然界的水资源在数量上是有限的,在时空分布上又是极其不均匀的。而且,随着人类社会的发展,用水量逐年增加,水体污染已经成为了当今世界环境污染的重要组成部分。

我国的水污染情况严重,而且废水排放量逐年增加,其中主要为工业废水。全国七大水系近一半的河段污染严重,86%城市河段水质超标。海河、辽河、松花江和淮河流域的污染特别严重。尽管长江、黄河、珠江等干流水质尚可,但都存在严重污染的河段。其中某些地区,环境特别是水域的污染已经严重威胁到人们的身体健康和工农业生产。以淮河流域为例,全流域191条支流中,80%的支流水体呈现黑绿色,一半以上河段完全丧失使用价值,不少工厂被迫停止生产,一些地区农作物绝收。1994年7月淮河发生特大污染事故,2亿吨废水注入干流,

形成 70 公里长的污染带，使苏、皖两省 150 万人饮水发生困难。近年来，各地由于水污染导致的停工、停产、限产事件频频发生，为水污染引起的纠纷逐年增加，已经成为影响社会稳定的重要因素。

废水中的有机物始终是造成水污染最重要的污染物，它是水域变质、发黑发臭的罪魁祸首，它在废水中可以悬浮物、胶体物或溶解性有机物的形式存在。有机污水中含有碳、氮、磷等营养物质，排入水体，可引起富营养化，使藻类大量繁殖，形成“水花”或“赤潮”，而使鱼类大量死亡。英国泰晤士河曾经因受有机污水的污染而濒临于“死”，后来由于治理了有机污水而“复生”。此外，工业废水中大多还含有有毒的有机物质。这些物质如若未加处理，直接排放到水体当中，将严重影响人体健康。特别是当这些物质难以由水体自净作用来降解时，危害将更大。例如牛皮纸厂废水中含有三氯甲烷、酚类等毒性极大且难以由水中微生物降解的有机物；林业废水中也含有大量不易生物降解的木质素衍生物，它的生物降解性很差， COD_{cr} （化学需氧量）和 BOD_5 的（生物需氧量）比值范围为 4~6，属于极难降解的有机物质。但是，在许多情况下，如果采用的处理方法得当的话，这些废水的毒性在一定程度上可以被降低或消除。

近些年来，环境和发展的关系日益为国人所认识，为实现可持续性发展，环境保护工作必须受到高度重视。“环境保护是我国的一项基本国策”已经为越来越多的人所接受。我国水污染的严重现状更使我国科研、管理和工程技术人员认识到发展水污染防治新技术的迫切性和重要性。

世界经济实践的实践证明，为实现经济的持续稳定发展，必须解决好经济发展与环境保护的矛盾。事实上，近代工业的飞速发展所产生的严重环境问题，已经直接或潜在地威胁着人类的生存和发展。城市生活废水和工业废水是引起水质污染最重要的原因。要防止工业废水污染水体，可进行生产工艺的改革，以改变产生废水的质量，可是要减少城市生活废水的量几乎是不可能的，只有把污水彻底地加以处理。

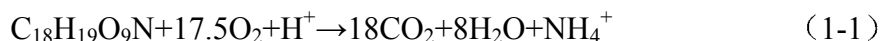
1.2 生物法处理有机废水简介

1.2.1 生物处理法的原理和分类

人们借助微生物降解有机物质的本能,找到了净化环境的有效措施。可以说,没有微生物就没有人类生存的基本环境条件;没有微生物就很难避免生活环境的日益恶化。利用微生物生命过程中的代谢活动,将有机物分解为简单的无机物从而去除有机污染物的过程称为废水的生物处理。废水的生物处理法是 19 世纪末出现的治理污水的技术,它发展至今,已经成为世界各国处理城市生活污水的主要手段,是去除废水中有机污染物最为经济、最具环境效益、应用最为广泛的废水处理方法。Metcalf & Eddy Inc.^[1]认为生物方法比物理、化学方法便宜,并且在应用时有许多其它的优点。

在生物处理过程中,微生物同其它生物一样,在它生长繁殖的过程中,需要从周围环境中不断吸收营养物质,通过新陈代谢作用,从中取得能量,并合成新的细胞物质,同时把体内废物排出体外。异养型微生物就是通过摄取废水中含有的各类营养物质来维持正常的新陈代谢,这些营养物质包括:碳源如糖类、醇类、有机酸和烃类等;氮源如蛋白质、氨基酸、尿素以及工业废水含有的各种化合物;无机元素如磷、硫、钾、镁、钙;微量元素如锰、锌、铜、钼、硼、钴等。其中,有机物被微生物摄取之后,通过代谢活动,一方面经过一系列的生化反应,最终以低能位的无机物质稳定下来,达到无害化的要求;另一方面被转化,合成为新的原生质的组成部分,即微生物自身的生长繁殖。这个过程称为微生物的呼吸作用。在有游离氧存在的情况下,叫做呼吸或氧化,而在无游离氧存在的情况下,称为发酵。相应起作用的微生物分为好氧性微生物、厌氧性微生物两种类型,而介于这两者之间的微生物称为兼性微生物。相应的废水生物处理过程可分为好氧生物处理和厌氧生物处理两类。

废水的好氧生物处理是一种在有游离氧存在的前提下,以好氧微生物为主,使有机物降解、稳定的无害化处理方法。好氧生物处理利用好氧微生物的代谢活动来处理废水,它须要不断向废水中补充大量空气或氧气,以维持其中好氧微生物所需要的足够的溶解氧浓度,一般是 2mg/L 以上。在好氧条件下,有机物被最终氧化为水和二氧化碳等,部分有机物被生物同化以产生新的微生物细胞。污水中的有机物具有大致如下的化学组成: $C_{18}H_{19}O_9N$ 。若好氧微生物将其氧化为二氧化碳,则表达式如下:



废水厌氧生物处理是指在无游离氧存在的条件下通过厌氧微生物（包括兼性微生物）的作用，将废水中的各种复杂有机物分解转化成甲烷和二氧化碳等物质的过程，也称为厌氧消化。一般来讲，有机物的厌氧消化过程可以分为四个阶段：

1) 水解阶段：高分子有机物因相对分子质量巨大，不能透过细胞膜，因此不可能为细菌所直接利用。因此它们在第一阶段被细菌胞外酶分解为小分子。淀粉被淀粉酶分解为芽糖和葡萄糖，这些小分子的水解产物能够溶解于水并透过细胞膜为细菌所利用。

2) 发酵（或酸化）阶段：在这一阶段，上述小分子的化合物在酸化菌的细胞内转化为更为简单的化合物并分泌到细胞外。这一阶段的主要产物有挥发性脂肪酸（VFA）、醇类、乳酸等。与此同时，酸化菌也利用部分物质合成新的细胞物质，因此未酸化废水厌氧处理时产生更多的剩余污泥。

3) 产乙酸阶段：在此阶段上，上一阶段的产物被进一步转化为乙酸、氢气和新的细胞物质。

4) 产甲烷阶段：这一阶段里，乙酸、氢气等被转化为甲烷、二氧化碳和新的细胞物质。

1.2.2 好氧生物处理法的发展

废水的好氧处理法分为活性污泥法、生物膜法等。

自 1914 年在英国建成活性污泥污水处理试验厂以来，活性污泥法已走过 80 多年的历史。随着其在实际过程中的广泛应用和对其生物反应、净化机理、运行管理等进行了深入的研究，其工艺流程得到了不断的改进和创新，技术得到了很大发展，是目前处理有机废水的主要方法。

活性污泥法有很多种运行方式，可它们的基本原理都是这样的：废水在曝气池中经过一段时间后，废水中的有机物绝大多数被微生物吸附、氧化分解成无机物，随后废水进入沉淀池中。在沉淀池中，呈絮状的微生物絮体—活性污泥下沉，处理后的出水—上清液即可溢流而被排放。

传统活性污泥工艺具有操作简单特点，特别适用于城市污水以及多种工业废水的处理。但是随着世界各国城市化率的不断提高、能源供给状况的日益紧张，致使传统活性污泥法出现了为人们所越来越关注的问题。这些问题是：①用地面积过大；②工艺操作过程中的臭味问题，产生数量较大的剩余污泥以及工艺对氮磷去除率不够理想的问题；③能耗较高；④由于负荷的

增加而运转不稳定。特别是一些有抑制作用污染物的浓度变化,会对细菌的生化活动有显著抑制作用^[2]。

生物膜法与活性污泥相比,主要区别在于生物膜或固定生长,或附着生长于固体填料(载体)的表面,而活性污泥则以絮体方式悬浮生长于处理构筑物中。所以生物膜法与活性污泥法相比有供氧充分、传质条件好、体积负荷大、处理效率高、卫生条件好等优点。生物膜法最初以碎石为填料,称为生物滤池。近年来,生物转盘、生物接触氧化法和生物流化床得到了较多的研究和应用^[3]。

1.2.3 厌氧生物处理法及其发展历史

1.2.3a 厌氧处理法的优势及其发展历史

废水厌氧生物技术是环境工程与能源工程的一项重要技术。与好氧生物处理相比,厌氧生物处理具有以下一些优点:

I. 厌氧废水处理工艺稳定、设备负荷高、占地少

厌氧由于没有了供氧的限制,所以反应器容积负荷比好氧法要高得多,单位反应器容积的有机物去除量也因此要高得多,反应器体积也较小,占地也小。厌氧工艺的有机负荷是好氧工艺的 5~10 倍^[3]。

II. 厌氧工艺中合成生物量仅为好氧工艺的 5%~20%

生物法污水处理中的污泥处理和处置技术在我国还刚刚起步,与先进国家相比尚有较大差距。污泥厌氧消化的投资高,污泥处理费用约占污水处理厂投资和运行费用的 20~45%,并且污泥厌氧消化处理的技术较为复杂。厌氧生物技术不需要好氧生物技术中氧的传递,也没有与之相随的微生物的大量合成,从而减少了处置剩余污泥的费用,其费用只相当于好氧生物技术的 10%^[4]。

III. 储存能量并具有生态和经济上的优点

厌氧处理中产生的甲烷可以利用,而且厌氧过程不需要氧的传递,这样又节省了传递氧所消耗的能量,这也充分说明了与厌氧生物处理工艺生态和经济上相伴随的另一优点是厌氧工艺的节能特点。从运行维持费用对比来看,好氧处理的费用随着废水浓度的提高而迅速增加,这一部分增加的主要原因是能耗大幅上升。

IV. 厌氧菌可以储存很长时间还能保持活性

Katsogiannis 等^[5]在实验中发现,产甲烷菌在 22⁰C 储存 31 天之后,3 天之内又可以恢复活性;储存 9 个月,也可以顺利地用来启动反应器,仅仅 15 天之后又恢复了活性。

V. 运行简单

厌氧工艺中一般由于利用生物膜或颗粒污泥使生物体固定化以及不需要氧的传递,不会发生二次沉淀池运行失当。在好氧系统中人们关注的剩余污泥和曝气这两个问题在厌氧处理中都不存在了,所以使厌氧工艺的运行简单化了。

厌氧处理技术的发展虽然已有百余年历史,但其飞速发展的势头出现在近 20 年间。过去,厌氧处理技术在构筑物形式上主要采用普通消化池,由于存在水力停留时间长、有机负荷低等缺点,较长时期限制了它在废水处理中的应用,这导致了长期以来人们认为厌氧系统相对较差的运行结果是由于厌氧处理系统本质上劣于好氧系统。事实上,厌氧处理较慢的谬见是只注意到反应器中停留时间而没看到处理的对象。事实上,与好氧生物处理易降解物质相比,由于剩余活性污泥难降解的特性,厌氧处理的水力停留时间(HRT)要长一些,这就意味着传统上好氧一般用于处理易于生物降解物质,厌氧则处理难降解的生物污泥,因此对初级和二级处理过程的混淆形成了一种毫无根据的观念,即与好氧过程相比厌氧过程“很慢”,这种观点没有注意到两种过程处理对象的生物降解难易的差别。由此可见,“慢”在于处理对象而不是在于处理工艺的本身。除了厌氧产甲烷需要较长的启动时间外,其实两种处理工艺所需要实际时间相类似。尽管厌氧处理启动时间长,但是费用低廉和对环境影响较小的优点值得认真考虑厌氧工艺。厌氧生物处理由于负荷较高,因此在处理同一工业废水时与好氧工艺相比只需要较小的反应器容积,产生的剩余生物污泥量也很少,由此明显减少了所需费用和对环境的影响。

事实上,70 年代以来,世界能源短缺日益突出,从节约和利用能源上考虑,废水厌氧处理技术受到重视,开发了各种新型处理工艺和设备,大大提高了厌氧反应器内活性污泥的持留量,使处理时间大大缩短,处理效率有了很大提高。随着现代高速厌氧反应器的出现,以及对厌氧技术原理的深入认识,厌氧技术已经为多种工业和生活废水的工业化处理提供了重要手段,它以低成本和能源的回收成为具有吸引力的技术,再一次引起世人瞩目。过去十多年间,我国广大科技工作者在废水厌氧处理领域的研究和应用中取得了许多成果,积累了相当的经验。现在已经证实,一个适当设计的厌氧处理系统在非常短的停留时间下和在比好氧处理高得多的负荷下,对于可生物降解有机物可以获得高的去除率。目前,厌氧处理法不仅可以用于处

理有机污泥和高浓度有机废水,也可以用于处理中、低浓度有机废水,包括城市污水。厌氧处理技术因其具有投资省、运行费用低以及能产生可回收利用的沼气等优点,而得到较快的发展,并出现了一批以上流式厌氧污泥床反应器(UASB)为代表的、能滞留大量微生物固体的第二代厌氧反应器处理技术。这批反应器所具有的较强的对微生物体的截留能力使得反应器的容积大大缩小,处理能力和处理效果得到大幅度的提高。但目前,这些处理技术在一些方面还存在一定的问题或尚待进一步的深入研究,这将在 1.2.3b 详细介绍。

1.2.3b 厌氧生物处理工艺的发展

近三、四十年是厌氧生物处理技术发展的高潮期,这一高潮期的代表是 AF(厌氧滤器)与 UASB 两个杰出的研究成果。此外,厌氧生物处理工艺还有 CSTR(完全混合反应器)、HUSB(即厌氧水解池)、EGSB(颗粒污泥膨胀床反应器)、AFBR(流化床反应器)等。

AF 是 60 年代末由美国 Mccarty^[6]等在 Coulter^[7]等研究基础上发展并确立的第一个高度厌氧反应器,由于它利用细菌在填料表面形成生物膜和在填料之间形成聚集体来实现污泥的保留,所以反应器内有高浓度的厌氧污泥的积累,大大提高了厌氧反应器的处理效率,使反应器容积大大减少,但是在应用上容易引起反应器堵塞,而且需要大量的填料,所以应用也不是很多,据 Lettinga^[8]在 1993 年估计,生产规模的 AF 系统大约仅有 30~40 个。

UASB 反应器处理工艺是由荷兰 Wageningen 农业大学^[9]的 Lettinga 教授等人于 1972 - 1978 年间开发研制的一项污水厌氧生物处理新技术,它是目前应用最为广泛的高效厌氧反应器。在 UASB 反应器中,废水由反应器底部进入反应器后,由于水的向上流动和产生的大量气体上升形成了良好的自然搅拌作用,并使一部分污泥在反应器最底部的污泥床上方形成相对稀薄的污泥悬浮层。悬浮液从污泥悬浮层向上进入分离区后,气体首先进入集气室被分离,含有悬浮液的废水进入分离区的沉降室,由于气体已被分离,在沉降室扰动很小,污泥在此沉降,由斜面返回反应区。同一般的厌氧装置相比,UASB 具有工艺结构紧凑、处理能力大、无机械搅拌装置、处理效果好以及投资费用省等优点,并且具有更高的负荷及去除率。厌氧处理之所以越来越广泛地应用于废水处理中,在很大程度上也是因为象 UASB 这类高效厌氧反应器的发展^[10~12]。张振家^[13]采用中温(37℃)UASB 反应器处理淀粉废水,具有容积负荷及去除率高等优点,在反应器 COD_{cr} 容积负荷保持在 $10kg/(m^3 \cdot d)$ 以上时, COD_{cr} 去除率可达到 90%以上,为后续处理打下良好的基础。Kennedy^[14]、Daniel^[15]在处理垃圾场滤液时将间歇 SBR(批式污泥

床反应器)和连续 UASB 两种不同处理方法进行比较,发现在高负荷的情况下,连续 UASB 反应器的处理效果较好,而 SBR 表现出了产气量减少、VFA(挥发性脂肪酸)积累、 COD_{cr} 去除率下降等迹象,说明在高负荷情况下,SBR 系统失败了。

关于处理含大量悬浮物的有机废水,Manjunath 等^[16]发展了一种气浮-UASB 系统来取代 UASB,其中气浮作为预处理对于去除大部分的悬浮物有很好的效果,用这个系统处理含 55% 悬浮有机物的屠宰厂废水,最终得到了很好的结果,经过处理的废水甚至可以直接往下水道排放。

CSTR 是用污泥的回流来保证反应器内的污泥浓度,通过连续或间歇的机械搅拌来实现污泥和废水的混合,但是还存在着如下一些问题:在高的污泥负荷下,会产生类似于好氧活性污泥法的污泥膨胀问题,所以厌氧接触工艺与好氧活性污泥法一样,容积负荷较低、停留时间较长;在处理含有悬浮物的废水时,悬浮物的积累会影响污泥的分离,降低反应器的负荷或降低处理效率。

HUSB 反应器可以在短的停留时间和相对高的水力负荷下获得高的悬浮物去除率。这一工艺可以改善和提高污水的可生化性和溶解性,以利于好氧后处理工艺,但是该工艺对污水的 COD_{cr} 去除率相对较低。事实上,该工艺仅仅能够起到预酸化作用。而 Wageningen 农业大学的专家们^[17~19]在研究中发现,EGSB 可以有效地去除可生物降解的溶解性 COD_{cr} 组分,Richard^[20]用 EGSB 反应器处理含各种短链有机酸的废水,在 6h 的时间里就可以取得 98% 的 COD_{cr} 去除率,而同样的废水用湿式氧化法处理,24h 也仅仅去除 90% 的 COD_{cr} 。由此说明 EGSB 用来处理溶解性 COD_{cr} 的效率是非常高的。但 EGSB 对于悬浮性 COD_{cr} 的去除效果极差。因此,HUSB 与 EGSB 两个工艺的优缺点是互补的,采用 HUSB+EGSB 串联系统应该能够得到较好的处理效果,但是目前还没有具体的应用实例。

AFBR 是依靠在惰性的填料微粒表面形成的生物膜来保留厌氧污泥,而液体与污泥的混合、物质的传递是依靠使这些带有生物膜的微粒形成流态化来实现。但为了实现良好的流态化并使污泥和填料不至于流失,必须使生物膜颗粒保持均匀的形状、大小和密度,这几乎是不可能的,因此稳定的流态化也难以保证^[21]。而且,为取得高的上流速度以保证流态化,流化床反应器需要大量的回流用水,这样将导致能耗加大,成本上升。因此,AFBR 至今没有生产规模的设施运行,而且有人认为它在今后的应用前景也不大^[75]。

Pierre 等^[22]研究出了一种新型的流化床反应器,叫做逆湍流床反应器。这种厌氧反应床用

一股上升的气体使一种特定的生物载体颗粒流化,流化需要的能量不多,载体有很大的比表面。用这种装置处理酿酒废水,发现颗粒的表面因为流化被一层均匀厚度的生物膜所覆盖,而且经过 90 天的测试,废水中的有机碳去除速度较快,与其它以前测试的流化床相比,处理效果更好。

1.2.3c 厌氧生物处理法的后处理工艺及其应用

厌氧处理原则上是一种预处理工艺,为了使废水达标排放,一般需要后处理工艺^[3]。根据仅有的一些关于后处理工艺的文献可以知道,大多数采用传统好氧工艺作为后处理工艺。但是现有的好氧工艺在很多方面不能直接满足厌氧出水后处理这一特定目标,因为厌氧出水的性质与原污水截然不同,可能有一些不利的副作用,会严重阻碍好氧处理的应用。例如, Ann^[23]发现很多经厌氧处理后的废水中除含有氮的化合物之外,还含有一定数量的 VFA,这些物质对后续的除氮过程都可能会有影响,而且采用好氧工艺系统的经济性也会存在问题。Bode^[24]在处理纸浆废水时,将厌氧-好氧组合工艺与单独好氧工艺进行比较,发现组合工艺的效果反而更差,因为在组合工艺中经过厌氧的氨氮的含量要比单独好氧工艺多得多,从而引起了操作问题,所以不能选用组合工艺。

尽管如此,厌氧-好氧组合工艺在大部分应用中还是优于单独厌氧处理工艺或单独好氧工艺,一般都能取得满意的处理效果。对于象油页岩灰浸取液这样用厌氧或好氧都容易生物降解的废水, Riitta^[25]、Metcalf^[26]、Zitomer^[27]等一致认为将厌氧与好氧串联起来处理比较好,而且确实取得了很好的处理效果,总的 COD_{cr} 去除率达到了 95%。强志民等^[28]在处理含酚废水、韩祥兵等^[29]在处理高浓度酒糟废液时用厌氧-好氧法都取得很好的处理效果。

Peter^[30]、Van Haandel^[31]、Lettinga^[32]等用浮萍与固定池的组合系统对 UASB 的出水进行后处理,结果 COD_{cr} 和 TSS (总悬浮物) 都得到了既快速又很好的去除; Jukkka 等^[33]用传统的活性污泥法对用 UASB 处理过的热机打浆废水进行后续处理,照例也可以顺利进行; Castillo 等^[34]用 RBC (旋转生物接触反应器) 在处理沿海地区生活污水时作为 UASB 反应器的后续处理工艺,与传统的活性污泥法相比,总的污泥产率系数比较小,而且硝化效果也比较好; Habets 等^[35]用厌氧-好氧法处理高得率浆废水比单单用好氧方法经济性提高一倍; Bode^[36]在处理糖类、蛋白质废水时将厌氧-好氧组合工艺与单独好氧工艺相比较,得出在糖类与蛋白质废水的处理中,单独好氧工艺比组合工艺的出水质量都稍稍好一点,但这种优势是可以忽略的,而且

在考虑到经济因素时选用组合工艺更加有优势,因为厌氧处理在能耗上占有很大的优势而且剩余污泥量较好氧相比要少得多;Krishina 等^[37]将厌氧-好氧组合工艺与单独厌氧工艺处理养猪厂废水进行比较,也说明了组合工艺比单独厌氧工艺可以取得更好的处理效果。

因此,如果从处理效果和经济因素综合考虑的话,除了由于一些废水的性质比较特殊,会严重阻碍厌氧-好氧方法的应用之外,大多数废水用厌氧-好氧方法处理都优于单独使用厌氧或单独好氧处理工艺。

1.2.4 水解-好氧组合工艺的发展与应用

传统的厌氧处理工艺中,存在两个问题:首先是总的去除效果不理想,即出水浓度较高和总的停留时间较长;如果厌氧系统停留时间缩短,其 COD_{Cr} 去除率很小,还需要相当可观的好氧后处理设备。而且在废水厌氧处理中,任何中间产物的明显积累都应当尽量避免,因为它会严重抑制大多数微生物的新陈代谢,影响后处理的顺利进行。

如果将厌氧系统的运行方式改为部分厌氧(水解),系统的处理效率将会大大改观。从原理上讲,水解是厌氧消化过程的第一和第二阶段,即水解和酸化阶段,但水解和厌氧是两种不同的处理方法,这是因为:水解-好氧处理工艺的水解段和厌氧消化的目标不同,前者是为了有利于后续的好氧生物处理;而且水解是在缺氧($DO < 0.3 \sim 0.5 mg/L$)而不是在严格厌氧($DO=0$)条件下进行反应^[49]。

微生物种群的差异使得厌氧与水解的最终产物也完全不同。在厌氧消化系统中,水解产生的有机酸立即被转化为甲烷和二氧化碳;而水解过程的最终产物为低浓度有机酸,个别情况下还有极少量的甲烷。

在水解-好氧工艺中,水解过程一般在兼氧(溶解氧 $< 0.3 \sim 0.5 mg/L$)条件下完成。其中,不仅水解阶段的兼氧微生物具有可以承受高浓度、高负荷污染物的优势,而且好氧阶段的好氧微生物还具有生长速度快、处理水质好的特点。整个过程不仅能大幅降低 COD_{Cr} ,而且能有效去除氮、磷等物质,是一种高效率、低能耗的有机废水处理工艺^[50]。

水解过程着眼于整个系统的处理效率和经济效益,放弃了厌氧反应中甲烷发酵阶段,利用厌氧反应中的水解和产酸阶段,使得污水、污泥同时得到处理。在整个水解过程中,大量悬浮物水解成可溶性物质,大分子降解为小分子,因此工艺过程中有许多不同于传统工艺的特点。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库